

## QUALIFICAÇÃO DE BRIQUETES PRODUZIDOS COM MISTURA DE REJEITOS SÓLIDOS URBANOS E RESÍDUOS AGRÍCOLAS

Ailton Teixeira do Vale<sup>1</sup>, Tiago Alves de Araújo<sup>2</sup> Myla Medeiros Fortes<sup>3</sup>, Mirella Basileu de Oliveira Lima<sup>3</sup> Maiara Neri Josino<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Professor doutor do Departamento de Engenharia Florestal. Universidade Brasília. Brasília, Distrito Federal, Brasil. Email: ailton.vale@gmail.com

<sup>2</sup>Graduando em Engenharia Florestal, Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília. Brasília, DF.

<sup>3</sup>Mestranda em Ciências Florestais. Universidade de Brasília. Brasília, Distrito Federal, Brasil.

Recebido em: 08/04/2017 – Aprovado em: 10/06/2017 – Publicado em: 20/06/2017  
DOI: 10.18677/EnciBio\_2017A90

### RESUMO

O presente estudo tem como objetivo a produção e qualificação de briquetes a partir da casca de laranja misturada com outros resíduos agroflorestais. O protocolo utilizado na produção dos briquetes foi: amostras de 40g, pressão de 100 kgf/cm<sup>2</sup>, temperatura de 130°C durante 5 minutos e resfriamento em torno de 10 minutos. Com menor teor de cinzas, mas elevado teor de material volátil a mistura casca de laranja com serragem de *Eucalyptus* sp apresentou um valor intermediário de carbono fixo quando comparado com as outras misturas e o maior poder calorífico útil a um teor de umidade de 6,96%. Com o protocolo de briquetagem proposto foi possível briquetar a mistura de casca de laranja com serragem de eucalipto, indicando que outros protocolos de briquetagem devem analisados para as outras misturas.

**PALAVRAS-CHAVE:** briquetes, casca de laranja e resíduos agrícolas.

### QUALIFICATION OF BRIQUETS PRODUCED WITH MIXTURE OF SOLID URBAN REJECTS AND AGRICULTURAL RESIDUES

#### ABSTRACT

The present study aims to produce briquettes made from orange peel mixed with others agroforestry waste, as well as the qualification and classification of these in relation to energy value. The protocol used in the briquettes production was: 40g samples, pressure at 100 kgf/cm<sup>2</sup> and temperature at 130°C for 5 minutes and then the samples were cooled down for 10 minutes. With lower ash content but greater content of volatile material, the mix of orange peel and sawdust of *Eucalyptus* sp resulted in an intermediate value of fixed carbon and a greater useful calorific value, with moisture content at 6.96%, compared to other mixtures. With the briquetting protocol proposed it was possible to produce briquettes from the mix of orange peel and sawdust of eucalyptus, indicating that others protocols of briquettes production should be analyzed for other types of mix.

**KEYWORDS:** briquettes, orange peel, agricultural waste.

## INTRODUÇÃO

A laranja é uma das frutas mais produzida no mundo, com um volume aproximado de 68,22 milhões de toneladas ao ano (SEAB, 2014). O Brasil é o maior produtor de laranja do mundo (KIRSTEN & TAVERNER, 2012) com 721.252 mil hectares de área plantada, destacando-se também na produção mundial de suco de citros suprimindo 57% da demanda mundial (USDA, 2014; SEBRAI, 2015).

A grande produção nacional resulta também no aumento de subprodutos desse material, como o bagaço da laranja que corresponde a 42% do peso da fruta, entretanto esse resíduo agrícola pode ser reaproveitado para outros fins (GOBBI et al. 2014). Uma opção para o aproveitamento de resíduos de baixa densidade, como a casca de laranja, é a briquetagem (VALE et al., 2012). O presente estudo tem como objetivo produzir briquetes feitos a partir da casca de laranja misturada com outros resíduos agroflorestais, bem como a qualificação e a classificação destes quanto ao valor energético.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais utilizados para a produção de briquetes foram: a fibra de coco sem o cotilédone, a casca de batata, o sabugo de milho, a serragem de *Eucalyptus sp* e a casca de laranja sem a goma, adquiridos na cidade de Brasília, DF e armazenados na Fazenda Água Limpa (FAL- Universidade de Brasília). Os materiais foram lavados com água corrente e em seguida secos ao ar livre.

Os resíduos foram triturados em moinho de facas, de laboratório, da marca Marconi modelo MA680 na Fazenda Água Limpa (FAL). Após o processo de trituração e classificação em peneiras dos resíduos uma parte do material foi utilizada a qualificação *in natura* e outra para a produção dos briquetes. A mistura foi feita a partir da fibra de coco, do sabugo de milho, da casca de batata e serragem de *Eucalyptus sp* com a casca de laranja na proporção de 1/1.

Os briquetes foram produzidos no Laboratório de Produtos Florestais (LPF) do Serviço Florestal Brasileiro (SBF), utilizando uma briquetadeira da marca Lippel modelo LB 32. Foram produzidos cinco briquetes (repetições) para cada uma das quatro misturas (tratamento), com 40 g de massa úmida a uma pressão de 100 kgf/cm<sup>2</sup> e temperatura de 130°C durante cinco minutos resfriando por volta de 10 minutos.

Tanto para o material *in natura* quanto para os briquetes foram realizados ensaios de análise imediata segundo a norma NBR 8112/86 e poder calorífico superior (PCS) segundo a norma NBR 8633/1984 e o poder calorífico útil (PCU) pelas Equações 1 e 2. A densidade energética dos briquetes foi obtida a partir do produto entre a densidade média e o poder calorífico útil de cada briquete.

$$PCI_{0\%} = PCS - 324 \quad \text{Equação 1}$$

$$PCU = PCI_{0\%}(1 - U) - 600U \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

U = umidade em base úmida (%), PCI<sub>0%</sub> = poder calorífico inferior a 0% de umidade, PCS = poder calorífico superior

A comparação estatística das biomassas *in natura* e dos briquetes foi feita por meio da Análise de Variância ao nível de significância de 5% de probabilidade. Os dados foram processados como Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) através do programa genes.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise dos resíduos *in natura*

Na Tabela 1 estão apresentados os valores médios da umidade dos resíduos estudados e o resultado quanto à briquetagem. Os valores de umidade encontrados neste estudo estão dentro de intervalo condizentes com a produção de briquetes (TAVARES & SANTOS, 2013). Apesar de possuir baixo teor de lignina, 4,74% (VALENÇA et al. 2016) é possível briquetar a casca de laranja em mistura com serragem de *Eucalyptus sp* na proporção de 1/1. As outras misturas na proporção e protocolos propostos não briquetaram.

**TABELA 1.** Valores médios da análise imediata e do poder calorífico para LB = casca de laranja com casca de batata, LC = casca de laranja com fibra de coco, LS = casca de laranja com serragem de eucalipto, LM = casca de laranja com sabugo de milho.

Resíduos	Teor de umidade (%)	Resultado	Cinzas (%)	Volátil (%)	Carbono fixo (%)	PCS (kcal/kg)	PCU (kcal/kg)
LB	9,63	Não briquetou	5,09	77,55	17,36	4.195	3.871
LC	7,79	Não briquetou	4,31	73,48	22,21	4.282	3.958
LS	6,96	Briquetou	2,95	77,75	18,04	4.410	4.086
LM	6,02	Não briquetou	4,21	78,52	18,53	4.286	3.962

Observa-se um menor teor de cinzas para a mistura a casca de laranja com serragem de eucalipto (Tabela 1). Via de regra, os teores de cinzas de resíduos agrícolas são elevados, devido à presença de uma maior quantidade de substâncias inorgânicas, quando comparados com a madeira, principalmente madeira de eucalipto que tem teores inferiores a 1%. VALE et al. (2012) registraram teor de cinzas para casca de laranja de 4,53%, para o sabugo de milho 17,39% e para o coco 4,71%, por outro lado, PEREIRA et al. (2013), encontraram valores inferiores a 0,50 % para o teor de cinzas para madeira de eucalipto. Isto explica o baixo valor da mistura casca de laranja com serragem de *Eucalyptus sp* em comparação às outras misturas. Por outro lado, a madeira em geral possui elevado teor de material volátil o que também explica o alto valor para a mistura casca de laranja com serragem de madeira.

Com menor teor de cinzas, mas elevado teor de material volátil a mistura casca de laranja com serragem de *Eucalyptus sp* apresentou um valor intermediário de carbono fixo quando comparado com as outras misturas e o maior poder calorífico útil a um teor de umidade de 6,96%. (Tabela 1). Com relação ao teor de materiais voláteis foram observadas semelhanças com dados da literatura. VALE et. al (2011) encontraram no epicarpo e na torta do pinhão manso *in natura* teor de voláteis de 72,6% e 77,4% respectivamente. SOUZA & VALE (2016) registraram

valores de 84,92% para Pinus, 83,60% para cumaru e 80,14% para tauari.

Os valores de carbono fixo encontrados também foram semelhantes com outros estudos. SOUZA & VALE (2016) encontraram valor médio de 14,89% para madeira de Pinus, 16,00% para cumaru e 18,46% para tauari. Trabalhando com casca de arroz e torta de pinhão manso, SOUZA & VALE (2016) encontraram valores de 12,75% e 17,27%, respectivamente. Os valores do poder calorífico superior (PCS) foram semelhantes a outros resíduos agroflorestais, como casca de arroz, com valores de 3797 kcal/kg, espiga de milho, com 4225 kcal/kg, casca de Feijão com 3609 kcal/kg e 4508 kcal/kg para casca de coco conforme (GARCIA et al, 2012).

Por meio do cálculo da análise de variância (ANOVA), observa-se diferença significativa entre os tratamentos para o teor de cinzas, materiais voláteis, carbono fixo e poder calorífico superior (Tabela 2), neste sentido foi realizado o teste de média conforme a Tabela 3. O fato dos tratamentos serem estatisticamente diferentes está relacionado a influência que os materiais voláteis, o carbono fixo e as cinzas exercem no poder calorífico.

**TABELA 2.** Análise de variância do teor de cinzas (CZ), massa volátil (MV), teor de carbono fixo (CF) e do poder calorífico superior (PCS) em função dos quatro tratamentos.

FV <sup>1</sup>	GL <sup>2</sup>	Valores de "F"			GL <sup>2</sup>	Valores de "F"
		CZ	MV	CF		PCS
Tratamento	3				3	
Resíduo	8	833,39*	123,41*	123,08*	4	107,09*
Total	11				7	

\* significativamente diferente ao nível de 5% de probabilidade.

<sup>1</sup>Fonte de Variação

<sup>2</sup>Grau de liberdade

**TABELA 3.** Comparação de médias pelo teste de Turkey para o teor de cinzas (CZ), para o teor de massa volátil (MV), teor de carbono fixo (CF) e poder calorífico (PCS) em função dos quatro tratamentos, onde LB = casca de laranja mais casca de batata, LC = casca de laranja mais fibra de coco, LM = casca de laranja mais sabugo de milho, LS = casca de laranja mais serragem de eucalipto.

Tratamentos	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	PCS (kcal/kg)
LB	5,06 a	77,32 b	22,63 b	4.194 c
LC	4,36 ab	73,36 c	26,60 a	4.281 c
LM	4,20 b	77,69 ab	22,27 bc	4.285 ab
LS	2,94 c	78,27 a	21,71 c	4.410 a

## Análise do briquete da mistura casca de laranja com serragem de eucalipto.

**TABELA 4.** Resultados dos valores médios do teor de umidade (TU), do teor de cinzas (CZ), do teor de massa voláteis (MV), do carbono fixo (CF), do poder calorífico superior (PCS), do poder calorífico inferior (PCI), do poder calorífico útil (PCU), da densidade ( $\rho$ ) e da densidade energética (DE) para os briquetes de casca de laranja mais serragem de eucalipto (LS).

Resíduos	Análise imediata (%)				Poder calorífico (kcal/kg)			$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	DE (kcal/kg)
	TU	CZ	MV	CF	PCS	PCI	PCU		
LS1	4,77	2,13	79,38	18,59	4.522	4.198	3.656	1,19	4.368.503
LS2	5,24	1,94	79,84	18,26	4.523	4.199	3.657	1,20	4.377.388
LS3	5,20	1,90	79,73	18,37	4.577	4.253	3.706	1,24	4.601.997
LS4	5,08	1,90	79,07	19,09	4.523	4.199	3.659	1,12	4.101.672
LS5	4,63	2,02	78,53	19,42	4.511	4.187	3.647	1,24	4.539.021
<b>Média</b>	<b>4,99</b>	<b>1,98</b>	<b>79,31</b>	<b>18,75</b>	<b>4.531</b>	<b>4.207</b>	<b>3.665</b>	<b>1,20</b>	<b>4.397.716</b>
<b>CV (%)</b>	<b>5,43</b>	<b>4,96</b>	<b>0,67</b>	<b>2,63</b>	<b>0,58</b>	<b>0,62</b>	<b>0,64</b>	<b>4,11</b>	<b>4,41</b>

O teor de material volátil encontrado para o briquete de mistura casca de laranja e serragem de eucalipto ficou entre 78,53 a 79,84%, semelhantes aos valores por SILVA (2007) e 77,50% para o bagaço de cana (PADILLA, 2016). O teor de cinzas foi inferior aos briquetes de casca de coco verde com 2,56% (Cabral et al., 2017) e 0,32%, para madeira de cedro australiano (*Toona ciliata*) (BUFALINO et al. 2012) e bagaço de cana com 5,22% (ARDILA, 2015). Com relação ao carbono fixo os valores são semelhantes aos resultados encontrados por VALE et al. (2012) que encontraram para casca de laranja 19,03%, para casca de mandioca 19,14%, para casca de maracujá 18,29% e casca de coco 23,72%.

Os resultados da densidade energética desse estudo são inferiores comparados com os resíduos de madeira, porém próximos dos resíduos agroflorestais (VALE et al., 2012). VALE et al. (2012) registraram valores 3.772.356 kcal/m<sup>3</sup> para o sabugo de milho, 4.118.389 kcal/m<sup>3</sup> para a casca de coco e 4.485.538 kcal/m<sup>3</sup> para a casca de maracujá. SOUZA & VALE (2016), trabalhando com pressão de 120kgf/cm<sup>2</sup> registrou valores de 4.110.000kcal/m<sup>3</sup> para *Pinus*, 3.950.000kcal/m<sup>3</sup> para a bagaço de cana-de-açúcar, 3.380.000kcal/m<sup>3</sup> para casca de arroz, 4.130.000kcal/m<sup>3</sup> para tauari e 4.630.000kcal/m<sup>3</sup> para cumaru.

Foram encontradas diferenças significativas para as variáveis: material volátil, cinzas e carbono fixo entre o resíduo *in natura* e o briquete de casca de laranja com serragem de madeira. A alteração do teor de cinzas e do poder calorífico pode ser explicada pela influência que a umidade exerce sobre estas características. MELO et al. (2012) verificaram que o teor de umidade do material antes da briquetagem influencia no teor de cinzas e no poder calorífico e na qualidade do briquete.

**TABELA 5.** Análise de variância do teor de material volátil (MV), teor de cinzas (CZ) e carbono fixo (CF) para a mistura de casca de laranja com serragem de *eucalipto sp* (LS).

Fonte de variação	Grau de liberdade	Valores de "F"		
		MV	CZ	CF
Tratamento	1			
Resíduo	6	7,84*	273,27*	69,76*
Total	7			

## CONCLUSÃO

A briquetagem da casca de laranja com a serragem de eucalipto é possível com o protocolo proposto e o briquete tem boas qualidades para uso como insumo energético.

As misturas de fibra de coco, sabugo de milho, casca de batata e serragem de *Eucalyptus sp* com casca de laranja não briquetaram, indicando que os parâmetros de briquetagem devem ser estabelecidos para cada material.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos técnicos do setor de energia do Laboratório de Produtos Florestais na confecção e qualificação dos briquetes.

## REFERÊNCIAS

ABNT -. Associação brasileira de normas técnicas. **NBR 8112:** análise Imediata. Rio de Janeiro, 1986.

ABNT - Associação brasileira de normas técnicas. **NBR 8633:** determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984.

ARDILA, Y. C. **Gaseificação da Biomassa para a Produção de Gás de Síntese e Posterior Fermentação para Bioetanol: Modelagem e Simulação do Processo.** 2015. 234 f. Unicamp, Campinas, Brasil, 2015. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?view=000942294>>

BUFALINO, L.; PROTÁSIO, T. de P.; COUTO, A. M.; NASSUR, O. A. C.; SÁ, V. A. de; TRUGILHO, P. F.; MENDES, L. M. Caracterização química e energética para aproveitamento da madeira de costaneira e desbaste de cedro australiano. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.32, n.70, p.129, 2012. <https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.70.13>

CABRAL, M.M.S.; ABUD, A.K.S. DE.; ROCHA, M.S.R.S. DOS.; ALMEIDA, M.R.R.G.; GOME, M.A.; Composição da fibra da casca de coco verde in natura e após pré-tratamentos químicos. **Engvista**, V. 19, n.1, p. 99-108, 2017. Disponível em: <<http://www.uff.br/engvista/seer/index.php/engvista/article/view/802/397>>.

GARCÍA, R.; PIZARRO, C.; LAVÍN, A. G. BUENO, J. L. Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. **Bioresource Technology**, v. 103, p. 249-258, 2012.

DOI: 10.1016/j.biortech.2011.10.004

GOBBI, K.F.; ABRAHÃO, J.J.S. DOS.; MOLETTA, J.L.; SANTOS, T.M. DOS.; BETT, V.; LUGÃO, S.M.B. 2014. Desempenho e características de carcaça de tourinhos alimentados com dietas contendo silagem de bagaço de laranja substituindo a silagem de sorgo. **Revista Brasileira de Saúde Produtos Animais**. 15: 917-927 Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbspa/v15n4/a19v15n4.pdf>>

KIRSTEN, L.; TAVERNER, P. Citrus. In: REES, D.; FARRELL, G., et al (Ed.). **Crop Post Harvest: Science and Technology Perishables** 1: Blackwell Publishing Ltd., 2012. cap. 4, p.43- 87. Disponível em: <<http://197.14.51.10:81/pmb/AGROALIMENTAIRE/Crop%20Post%20Harvest%20Science%20and%20Technology%20Perishables.pdf>>

MELO, I.C.N.A; PROTÁSIO, T.P.; TRUGILHO,P.F.; CARNEIRO, A.C.O. Efeito de Local e Espaçamento na Qualidade do Carvão Vegetal de um Clone de Eucalyptus urophylla S. T. Blake. **Floresta e Ambiente**. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/floram/v19n4/v19n4a12.pdf>>.

PADILLA, E. R. D.; PIRES, I. C. S. A.; YAMAJI, F. M.; FANDIÑO, J. M. M. Produção e Caracterização Físico-Mecânica de Briquetes de Fibra de Coco e Palha de Cana-de-Açúcar. **Revista virtual de Química**. 2016. Disponível em: <<http://rvq.sbq.org.br:80/index.php/rvq/article/download/1396/823>>

PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A.C.O. DE.; CARVALHO, A.M.M.L.; TRUGILHO,P.F.; MELO, I.C.N.A.; E OLIVEIRA, A.C.; Estudo da degradação térmica da madeira de Eucalyptus através de termogravimetria e calorimetria. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 567-576, 2013. DOI: 10.1590/S0100- 67622013000300020.

SEAB. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Fruticultura. Disponível em: <[http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/fruticultura\\_2014\\_15.pdf](http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/fruticultura_2014_15.pdf)>.2014. Acesso em: 06 Abr. 2017.

SEBRAI. **Agronegócio Fruticultura**. Boletim de Inteligência. 2015. Disponível em:<[http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS\\_CHRONUS/bds/bds.nsf/64ab878c176e5103877bfd3f92a2a68f/\\$File/5791.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/64ab878c176e5103877bfd3f92a2a68f/$File/5791.pdf)>. Acesso em: 06 Abr. 2017.

SILVA, D.A. **Análise laboratorial para avaliação da qualidade de briquetes para fins energéticos para empresa Bripell.Fupez**. Curitiba. 2007. Acessado 16/06/2013. Disponível em:<[http://bripell.com/analises/Analise%20Briquetes\\_Universidade%20Federal%20do%20Paran%E1.pdf](http://bripell.com/analises/Analise%20Briquetes_Universidade%20Federal%20do%20Paran%E1.pdf)>

SOUZA, F. DE.; VALE.A.T. DO; Densidade energética de briquetes de biomassa lignocelulósica e sua relação com os parâmetros de briquetagem. **Pesquisa Florestal Brasileira** , Colombo, v. 36, n. 88, p. 405-413. 2016. doi: 10.4336/2016.pfb.36.88.879

TAVARES, S.R.L.; SANTOS, T.E.; Uso de diferentes fontes de biomassa vegetal para produção de biocombustíveis sólidos/use of different sources of biomass plant for the production of solid biofuel. **HOLOS**, v. 5. 2013. Disponível em: <<http://search.proquest.com/docview/1492189197/fulltext/F3EF0D0A83DB4B7DPQ/1?accountid=26646>>

USDA. **This report contains assessments of commodity and trade issues made by usda staff and not necessarily statements of official u.s. government policy** Disponível em: <[http://usdabrazil.org.br/upload/files/Citrus%20Semiannual\\_Sao%20Paulo%20ATO\\_Brazil\\_6-11-2014.pdf](http://usdabrazil.org.br/upload/files/Citrus%20Semiannual_Sao%20Paulo%20ATO_Brazil_6-11-2014.pdf)> Acesso em: 06. Abr. 2017

VALE, A.T.; MENDES, R.M.; AMORIM, M.R.S.; DANTAS, V.F.S. 2011. Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo e da torta de pinhão manso (*Jatropha curcas*). **Cerne**, Lavras, v.17, n.2, p.267-273. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cerne/v17n2/v17n2a15.pdf>>

VALE, A.T. DO; BARROS, L. O.; QUIRINO, W. J.; MOREIRA, A. C. O. Densidade energética de briquetes produzidos a partir de resíduos agrícolas. **Biomassa & Energia** (Viçosa), v. 5, p. 1-10, 2012. Disponível em: <[http://bdm.unb.br/bitstream/10483/4448/1/2012\\_LuanadeOliveiraBarros.pdf](http://bdm.unb.br/bitstream/10483/4448/1/2012_LuanadeOliveiraBarros.pdf)>.

VALENÇA, R.L.; FERREIRA, A. C. D.; SANTOS, A. C. P.; SILVA, B. C. D, SANTOS, G. R. A.; OLIVEIRA, E. S. Composição química e perdas em silagem de bagaço de laranja pré-seco. **Boletim Industria Animal** , Nova Odessa, v.73, n.3, p.206-211, 2016.DOI: <http://dx.doi.org/10.17523/bia.v73n3p206>